不同粗饲料组合对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响

高立鹏　孟梅娟　白云峰*　涂远璐　严少华　刘　建

（江苏省农业科学院动物科学基地，南京 210014）

摘　要：本试验旨在研究不同粗饲料组合对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响。选取4只体重为（26.63±2.60） kg的波尔山羊×徐淮山羊（波杂羊），采用4×4拉丁方设计，基础饲粮采用稻草（A）为粗饲料，试验饲粮分别采用大豆皮（B）、金针菇菌渣（C）及大豆皮+金针菇菌渣（D）替代部分稻草，4组饲粮等氮、等能、等纤维。试验分为4期，每期15 d，其中预试期10 d，正试期5 d。结果表明：1）4组饲粮的干物质（DM）、酸性洗涤纤维（ADF）、磷以及总能的表观消化率差异不显著（P>0.05）。2）与饲粮A相比，饲粮D显著提高了有机物（OM）和中性洗涤纤维（NDF）的表观消化率（P<0.05），饲粮B与饲粮A差异不显著（P>0.05）；饲粮B、饲粮C和饲粮D的钙表观消化率差异不显著（P>0.05），但显著高于饲粮A（P<0.05）。3）与饲粮A相比，饲粮B、饲粮C和饲粮D显著提高了氮沉积率和氮生物学价值（P<0.05）。综合得出，与单独采用稻草为粗饲料相比，采用大豆皮、金针菇菌渣或二者联合与稻草组合提高了山羊OM、NDF、钙的表观消化率，氮沉积率以及氮生物学价值；本试验条件下，采用大豆皮和金针菇菌渣联合与稻草组合为粗饲料效果最优。

关键字：山羊；稻草；金针菇菌渣；大豆皮；表观消化率；代谢

中图分类号：S826

近几年，随着江苏省养羊生产方式逐渐向集约化和规范化方向发展，迫切需要提高羊群的质量和羊只的单产水平，以增加市场竞争力和抗御风险的能力。然而由于优质粗饲料严重缺乏，在实际生产中，大部分地区还一直沿用秸秆类粗饲料饲养山羊，即“秸秆+精饲料”二元饲粮结构饲养方式，养殖者为了提高产量而大量使用精饲料，这种饲粮结构不利于山羊的反刍生理和对粗饲料的消化利用。单独用秸秆作为唯一粗饲料，往往不能完全满足反刍动物需要。对秸秆经过碱化、氨化和微贮等处理后，可明显提高动物对秸秆的消化率，但是，单纯依靠加工处理来提高秸秆营养价值的程度是有限的，还必须注重饲粮的合理组合与搭配。

收稿日期：2016-02-23

基金项目：江苏省农业自主创新基金[cx(15)1003-11]；公益性（农业）行业科研专项（201203050-4）作者简介：高立鹏，（1981-），男，江苏徐州人，硕士研究生，从事家畜营养生态学研究。E-mail: 445078812@qq.com

*通信作者：白云峰，研究员，研究生导师，E-mail: blinkeye@126.com

饲粮中各种饲料的配比是影响反刍动物对粗纤维利用的主要因素之一。当混合饲料或饲粮的可利用能值或消化率不等于组成该饲粮的各种饲料的可利用能值或消化率的加权和时，就意味着产生了组合效应[1]。张吉鹍等[2]用体外产气法研究了稻草与苜蓿的组合效应，结果表明，稻草以合适的比例与苜蓿组合，可以产生正组合效应。庄涛等[3]研究表明，稻草与不同的粗饲料组合对苏淮羊产生不同的影响。张吉鹍等[4]研究表明，反刍动物稻草为基础饲粮以添加40%~60%的苜蓿效果较好。瘤胃的消化过程极其复杂，许多因素可影响瘤胃的消化与代谢，饲粮组成及其与消化系统之间的互作会影响饲粮的营养价值，这些因素相互促进或拮抗。正组合效应可以提高动物对饲粮的采食量以及营养物质消化率，而负组合效应可能改变饲粮的能值，降低饲粮表观代谢能。因此，通过饲料间合理的组合搭配，最大限度地发挥饲料间正的组合效应，以满足动物的维持需要或达到生产目的。因此，本试验通过将稻草与大豆皮和金针菇菌渣以不同的比例混合，研究不同组合对山羊营养物质表观消化率的影响，为反刍动物合理配制饲粮提供理论依据，从而为大豆皮和金针菇菌渣在养羊业发展中的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选用 4 只体重（26.63±2.60） kg 的波尔山羊×徐淮山羊（波杂羊），采用 4×4 拉丁方试验设计，4 只羊的编号分别为 1、2、3、4；在等氮、等能、等纤维的前提下，用大豆皮和金针菇菌渣替代饲粮中的部分稻草，试验设有 4 个处理，基础饲粮采用稻草（A）为粗饲料，试验饲粮分别采用大豆皮（B）、金针菇菌渣（C）及大豆皮+金针菇菌渣（D）替代部分稻草。试验分为 4 期进行，每期预试期 10 d，正试期 5 d。

1.2 试验饲粮

将饲料原料的干物质（DM）、有机物（OM）、粗蛋白质（CP）、钙（Ca）、磷（P）以及中性洗涤纤维（NDF）测出后，参照中国美利奴育成公羊维持需要量的 1.5 倍设计等氮、等能、等纤维 4 组饲粮，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D

原料 Ingredients				
玉米 Maize	28.45	26.50	29.41	29.67
豆粕 Soybean meal	3.91	1.80	0.68	2.10
麦麸 Wheat bran	17.48	18.28	17.04	11.04
大豆皮 Soybean hull		12.10		11.31
金针菇菌渣 *Enoki mushroom* residues			24.85	13.70
稻草 Straw	46.82	36.30	24.85	28.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.69	1.73	0.50	1.75
石粉 Limestone	0.65	0.50	1.54	0.44
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50	0.63	0.50
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
膨润土 Bentonite		1.79		0.99
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
粗蛋白质 CP	9.86	9.86	9.85	9.86
中性洗涤纤维 NDF	38.00	37.97	37.92	38.10
消化能 DE/(MJ/kg)	9.92	10.00	9.92	10.00
钙 Ca	0.73	0.73	0.73	0.73
磷 P	0.49	0.49	0.49	0.49

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet:VA 4 000 IU，VD_3 400 IU，VE 20 000 IU，硫酸亚铁 $FeSO_4$ 69.03 mg，硫酸铜 $CuSO_4$ 17.6 mg，硫酸钾 K_2SO_4 31.70 mg，硫酸锌 $ZnSO_4$ 57.14 mg，硫酸锰 $MnSO_4$ 44.03 mg，氯化钴 $CoCl_2$ 0.25 mg，亚硒酸钠 Na_2SeO_3 8.95 mg，莫能菌素 monensin 6.00 mg，碳酸氢钠 $NaHCO_3$ 740.91 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

将试验羊置于消化代谢笼，单笼饲喂，待其适应后，进行试验。在试验前 1 周，4 只羊自由采食，并摸索各只羊的采食量，根据所有羊最低日采食量作为每日固定给料量，以确保试验中所有羊均能采食完试验饲粮，并记录日采食量。每只羊每天分别于 08:00 和 17:00 分 2 次等量饲喂，自由饮水。

1.4 样品的采集与处理

1.4.1 饲粮采集与处理

配制试验饲粮时，4 个处理的饲粮在每袋相同位置各取 500 g，混匀后按照四分法收集饲粮样，粉碎过 40 目筛，置于-20 ℃冰箱中，保存待测。

1.4.2 粪样采集与处理

连续收集粪便 5 d，每日称重并记录试验羊的排粪量，每日按鲜粪重 10%取样，加 10%

盐酸固氮（每 100 g 粪样加 10%盐酸，10 mL），在 75 ℃烘箱中烘至恒重，室温下回潮 24 h，称重记并录，粉碎过 40 目筛，用密封袋保存于-20 ℃待测。

1.4.3 尿样采集与处理

连续收集尿液 5 d，每天准确称重、记录试畜排尿量，保存于密封的桶中，滴加少许的浓盐酸（1:3）固氮，5 d 以后，将收集的尿样摇匀、纱布过滤，取样置于 200 mL 塑料瓶中，-20 ℃冰柜中保存待测。

1.5 测定指标与方法

饲粮和粪样的 DM、粗灰分（ash）、NDF、酸性洗涤纤维（ADF）、CP 含量以及总能按常规方法[AOAC（1995）[5]]测定。

饲粮、粪样的磷含量采用 GB/T 6437-2002 钒钼黄比色法，采用 GB/T 13885-2003 乙炔-空气火焰原子吸收光谱法测定饲粮、粪样的钙含量，测定仪器为上海光谱 SP-3803AA。

1.6 结果计算

1.6.1 养分表观消化率

某养分表观消化率=[（该养分进食量-粪中该养分排出量）/该养分进食量]×100。

1.6.2 氮沉积、氮沉积率以及氮生物学价值

氮沉积=食入氮-粪氮-尿氮;

氮沉积率（%）=[（食入氮－粪氮－尿氮）/食入氮]×100;

氮生物学价值 BV（%）=[氮沉积/（食入氮－粪氮）]×100。

1.7 统计分析

利用 SAS 8.0 统计软件中的 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法。*P*<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同粗饲料组合对山羊 DM 和 OM 表观消化率的影响

由表 2 可知，饲粮 A 的 DM 进食量显著高于饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D（*P*<0.05），这可能是由于山羊对非常规饲料有一个适应过程所致。4 组饲粮之间的 OM 进食量差异显著（*P*<0.05），饲粮 B 的 OM 进食量显著低于其他 3 组饲粮（*P*<0.05），可能是由于饲粮 B 中粗灰分含量较高所致。饲粮 A 的 DM 排出量与饲粮 B、饲粮 C 差异不显著（*P*>0.05），显著

高于饲粮 D（*P*<0.05），但 4 组饲粮的 DM 表观消化率差异不显著（*P*>0.05），这说明用大豆皮或金针菇菌渣替代部分稻草对 DM 消化特性没有显著的影响。饲粮 A 的 OM 排出量显著高于饲粮 B、饲粮 D（*P*<0.05），与饲粮 C 差异不显著（*P*>0.05）。饲粮 D 的 OM 表观消化率与饲粮 B 差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 C、饲粮 D（*P*<0.05）。

表 2　不同粗饲料组合对山羊 DM 和 OM 表观消化率的影响

Table 2　Effects of different roughage combinations on DM and OM apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
干物质 DM				
进食量 Intake/(g/d)	642.88 ± 0.00^{a}	618.71 ± 0.00^{bc}	612.53 ± 0.00^{c}	622.71 ± 0.00^{b}
排出量 Output/(g/d)	264.34 ± 18.16^{a}	244.96 ± 22.29^{ab}	248.82 ± 21.25^{ab}	231.18 ± 22.37^{b}
表观消化率 Apparent digestibility/%	58.88 ± 2.82	60.41 ± 3.60	59.38 ± 3.47	62.88 ± 3.59
有机物 OM				
进食量 Intake/(g/d)	575.36 ± 0.00^{a}	549.79 ± 0.00^{d}	553.62 ± 0.00^{c}	555.45 ± 0.00^{b}
排出量 Output/(g/d)	172.24 ± 12.47^{a}	144.90 ± 18.82^{bc}	165.22 ± 15.56^{ab}	138.34 ± 19.71^{c}
表观消化率 Apparent digestibility/%	70.06 ± 2.17^{b}	73.65 ± 3.42^{ab}	70.16 ± 2.81^{b}	75.09 ± 3.55^{a}

同行数据肩标相同或无小写字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

In the same row, values with the same or no small letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as below.

2.2　不同粗饲料组合对山羊 NDF 和 ADF 表观消化率的影响

由表 3 可知，4 组之间的 NDF、ADF 进食量差异不显著（*P*>0.05）。饲粮 A 的 NDF、ADF 排出量与饲粮 B、饲粮 C 差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 D（*P*<0.05）。饲粮 D 的 NDF 表观消化率与饲粮 B、饲粮 C 差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 A（*P*<0.05）。4 组之间的 ADF 表观消化率差异不显著（*P*>0.05）。但饲粮 D 的 ADF 表观消化率有高于其他 3 组饲粮的趋势。这表明饲粮 D 的 NDF 和 ADF 可消化性较高，饲粮 A 的 NDF 和 ADF 可消化性最差。

表 3　不同粗饲料组合对山羊 NDF 和 ADF 表观消化率的影响

Table 3　Effects of different roughage combinations on NDF and ADF apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
中性洗涤纤维 NDF				
进食量 Intake/(g/d)	263.91 ± 0.00	264.30 ± 0.00	263.19 ± 0.00	263.91 ± 0.00

排出量 Output/(g/d)	122.97±8.15^{a}	109.36±6.15^{ab}	115.19±10.06^{ab}	105.85±8.63^{b}
表观消化率 Apparent digestibility/%	53.40±3.09^{b}	58.62±2.33^{ab}	56.23±3.82^{ab}	59.89±3.27^{a}
酸性洗涤纤维 ADF				
进食量 Intake/(g/d)	143.05±1.81	149.01±7.17	143.18±3.11	146.98±7.63
排出量 Output/(g/d)	53.99±2.99^{a}	52.08±4.28^{ab}	50.85±3.76^{ab}	48.40±3.13^{b}
表观消化率 Apparent digestibility/%	62.24±2.59	65.01±3.18	64.45±3.04	66.97±3.20

2.3 不同粗饲料组合对山羊钙和磷表观消化率的影响

由表 4 可知，虽然饲粮 C 的钙进食量显著高于饲粮 A、饲粮 B、饲粮 D（P<0.05），但 4 组饲粮的钙进食量在数值上相差不大。4 组饲粮的钙排出量差异不显著（P>0.05），饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的钙表观消化率差异不显著（P>0.05），但均显著高于饲粮 A（P<0.05）。这表明，饲粮中添加大豆皮、金针菇菌渣均有利于钙的消化和吸收。4 组饲粮的磷进食量差异显著（P<0.05），其中饲粮 C 的磷进食量显著高于其他 3 组饲粮（P<0.05），饲粮 B 的磷进食量最低，显著低于其他 3 组饲粮（P<0.05）。4 组饲粮的磷排出量差异不显著（P>0.05），4 组饲粮的磷表观消化率差异不显著（P>0.05），但饲粮 B 的磷表观消化率有高于饲粮 A、饲粮 C 和饲粮 D 的趋势。这说明饲粮中添加大豆皮和金针菇菌渣，特别是添加大豆皮可以提高磷表观消化率。

表 4 不同粗饲料组合对山羊钙和磷表观消化率的影响

Table 4 Effects of different roughage combinations on Ca and P apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
钙 Ca				
进食量 Intake/(g/d)	4.62±0.00^{b}	4.62±0.00^{b}	4.69±0.00^{a}	4.62±0.00^{b}
排出量 Output/(g/d)	2.59±0.03	2.40±0.04	2.44±0.05	2.38±0.04
表观消化率 Apparent digestibility/%	43.83±0.64^{b}	48.08±0.78^{a}	48.05±1.13^{a}	48.54±1.79^{a}
磷 P				
进食量 Intake/(g/d)	4.39±0.00^{c}	4.37±0.00^{d}	4.49±0.00^{a}	4.40±0.00^{b}
排出量 Output/(g/d)	2.45±0.18	2.38±0.25	2.45±0.41	2.45±0.24
表观消化率 Apparent digestibility/%	44.19±2.64	45.53±3.72	45.43±3.03	44.31±3.24

2.4 不同粗饲料组合对山羊总能表观消化率的影响

由表 5 可知，4 组饲粮的总能进食量差异显著（P>0.05），饲粮 A 的总能进食量显著高于其他 3 组饲粮（P<0.05），但 4 组饲粮的总能进食量在数值上相差不大。4 组饲粮的粪能差异不显著（P>0.05）。4 组饲粮的总能表观消化率差异不显著（P>0.05），但饲粮 B、饲粮

C 和饲粮 D 的总能表观消化率有高于饲粮 A 的趋势。这可能是由于饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 中纤维物质表观消化率较高所致。

表 5　不同粗饲料组合对山羊总能表观消化率的影响

Table 5　Effects of different roughage combinations on GE apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
总能进食量 GE intake/(kJ/d)	117.87±0.00^{a}	113.84±0.00^{b}	111.97±0.00^{d}	112.55±0.00^{c}
粪能 FE/(kJ/d)	43.25±4.24	37.95±3.56	39.08±3.20	37.12±3.59
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%	63.31±3.60	66.67±3.12	65.10±2.87	67.02±3.19

2.5　不同粗饲料组合对山羊氮平衡的影响

由表 6 可知，4 组饲粮的氮进食量、粪氮以及尿氮之间差异不显著（P>0.05）。饲粮 A 的氮沉积显著低于饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D（P<0.05），饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 之间差异不显著（P>0.05）。饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的氮沉积率和氮生物学价值显著高于饲粮 A（P<0.05），饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 之间差异不显著（P>0.05），但是饲粮 D 的氮生物学价值在数值上高于饲粮 B 和饲粮 C。由此可见，饲粮中添加大豆皮和金针菇菌渣有利于氮的消化和利用。

表 6　不同粗饲料组合对山羊氮平衡的影响

Table 6　Effects of different roughage combinations on N balance of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
氮进食量 N intake/(g/d)	11.97±0.00	12.01±0.00	12.31±0.00	12.07±0.00
粪氮 Fecal N/(g/d)	4.80±0.38	4.30±0.46	4.85±0.17	4.72±0.70
尿氮 Urine N/(g/d)	3.63±0.63	3.20±0.61	3.12±1.13	2.77±0.46
氮沉积 N retention/(g/d)	3.54±0.38^{b}	4.51±0.46^{a}	4.33±1.03^{a}	4.58±0.68^{a}
氮沉积率 N retention rate/%	29.58±3.16^{b}	37.55±3.81^{a}	35.20±2.39^{a}	37.94±2.65^{a}
氮生物学价值 NBV/%	49.55±6.74^{b}	58.60±6.24^{a}	58.26±4.46^{a}	62.22±5.61^{a}

3　讨　论

3.1　不同粗饲料组合对山羊 DM 和 OM 表观消化率的影响

DM 和 OM 的表观消化率可以反映动物对某饲粮的消化特性[6]，饲粮中粗饲料不同，其在家畜瘤胃中的降解程度不同[7-9]。有试验结果可知，饲粮 B、饲粮 C、饲粮 D 的 DM、OM 表观消化率均高于饲粮 A。这说明稻草、大豆皮与金针菇菌渣之间存在组合效应。这可能是因为不同来源的粗饲料，其适口性和纤维成分的瘤胃降解特性不同，组合后促进了瘤胃降解

性能好的饲粮在瘤胃中合理地发酵，增加了纤维利用菌的数量，提高了整个饲粮纤维利用率，从而影响饲粮的养分消化率。

3.2　不同粗饲料组合对山羊 NDF、ADF 表观消化率的影响

饲粮纤维对反刍动物具有重要的作用，饲粮纤维不仅是瘤胃内微生物重要的能量来源，而且维持瘤胃壁健康以及唾液分泌[10-12]，NDF 和 ADF 消化率可以反映反刍动物对饲粮纤维物质的利用能力[13]。纤维物质的消化受到多方面的影响，比如饲粮组成成分、瘤胃发酵环境、瘤胃微生物组成以及饲粮在瘤胃存在时间等[14]。本试验结果与高立鹏等[15]的研究一致，该试验以大豆皮为主要纤维来源饲粮，提高了饲粮中 NDF 的表观消化率。并且根据 Quicke 等[16]报道，大豆皮体外 DM 消化率可达 90%，粗纤维消化率高达 96%，大豆皮促进瘤胃细胞壁消化的“正互作效应”，并且通过活体内试验[17]和尼龙袋试验[18]表明，添加大豆皮可以提高饲粮纤维消化率的 “正互作效应”。并且与其他粗饲料相比，大豆皮中含有较多的潜在可降解的 NDF，具有较高的 NDF 降解率[19]。所以饲粮中添加大豆皮可提高纤维物质的表观消化率。同时在饲粮中添加大豆皮，饲粮 D 的 NDF 和 ADF 的表观消化率略高于饲粮 B，显然，添加大豆皮对纤维物质利用的影响与饲粮组合和添加量有关。本试验饲粮 A 的 NDF 和 ADF 的表观消化率低，与其 DM 和 OM 的表观消化率显著低一致。饲粮中木质化程度高，不仅降低纤维物质本身的可消化性，还影响了饲粮总体的消化状况。这与李勇等[20]研究一致。菌渣通过食用菌的生物固氮作用、酶解作用等一系列生物转化过程，原料中的纤维素、半纤维素和木质素等被不同程度降解[21]，从而有利于纤维物质的消化分解，并且菌渣中含有的生物活性物质可能会改善瘤胃发酵环境，进而促进了纤维物质在瘤胃中的消化，提高了纤维物质的消化率，所以虽然饲粮 C 的 NDF 和 ADF 的表观消化率与饲粮 A 差异不显著，但在数值上有高于饲粮 A 的趋势。

3.3　不同粗饲料组合对山羊矿物质表观消化率的影响

反刍动物钙、磷排出的途径主要是粪（肝肠循环），随尿排出的比较少。因此本试验只测定了其表观消化率。钙、磷对反刍动物具有重要的作用，它们通过维持瘤胃内微生物的活性，进而影响瘤胃对饲粮的消化能力[22]。研究表明，当瘤胃内磷低于正常水平，瘤胃内微生物生长受阻，生长速度下降，从而降低了动物对饲粮中纤维物质的消化率[23]。Durand 等[24]在奶牛体外试验中发现，磷不仅能促进瘤胃微生物的活动，还能改变瘤胃内环境，促进

粗纤维的消化。本试验中，在饲粮中添加非常规饲料大豆皮和金针菇菌渣，饲粮钙和磷的吸收得到提高。这与高立鹏等[15]报道一致，在饲粮中添加非常规饲料大豆皮有提高钙、磷表观消化率的趋势。这可能是钙、磷在小肠内的吸收与溶度积有关。饲粮 A 的钙表观消化率较低，这可能是由于稻草中含有大量的草酸与钙形成不溶性的草酸钙，随粪便排出，从而降低了钙的消化率[25]。饲粮 D 的钙表观消化率略高于饲粮 B 和饲粮 C，而磷表观消化率略低于饲粮 B 和饲粮 C，这可能是由于大豆皮和金针菇菌渣组合产生了组合效应，这促进了钙的吸收，而抑制了磷的吸收，具体原因有待进一步试验查明。

3.4　不同粗饲料组合对山羊总能表观消化率的影响

能量是动物体内一切代谢活动和生产活动的基础，饲粮中纤维物质是反刍动物获取能量的重要来源[26]，反刍动物所需要能量的 70%~80%来自于瘤胃中的发酵碳水化合物所产生的挥发性脂肪酸(VFA)。研究表明，反刍动物采食粗饲料时粪能占总能进食量比为 40%~50%，采食精饲料时为 20%~30%，采食低质粗饲料时为 60%[27]。本试验中，各饲粮粪能占总能进食量比在 32.98%~34.90%，与其研究结果一致。饲粮 A 的粪能较其他 3 组饲粮相对较高，这可能是与稻草的品质低、纤维的有效降解率低有关。夏科等[28]和娜仁花等[29]研究表明，秸秆型饲粮的粪能相对较高。

3.5　不同粗饲料组合对山羊氮平衡的影响

动物食入的氮，一部分通过合成体蛋白质沉积体内被机体利用，另一部分则通过消化代谢后的废弃产物随粪、尿排出体外。动物机体对饲粮中蛋白质利用程度可以通过氮沉积率来反映，瘤胃内降解氮的利用效率多变，因此讨论氮沉积率比其消化率更有意义。氮沉积率不仅可以反映饲粮中 CP 的优劣程度，还可以准确地反映蛋白质在动物体内被消化吸收的程度[30]。研究表明，碳水化合物结构的改变能够提高氮的利用率[31]。本试验中，相对于只添加稻草作为饲粮粗饲料，饲粮中添加非常规饲料大豆皮和金针菇菌渣改变了饲粮碳水化合物结构，使碳水化合物结构更有利于氮的消化利用，进而提高了饲粮中氮的消化率。高立鹏等[15]研究表明，饲粮中添加大豆皮有利于提高蛋白质的表观消化率。林萌萌等[32]研究饲粮添加不同比例的金针菇菌渣对育肥牛养分表观消化率的影响，结果表明，饲粮中添加 23%的金针菇菌渣对提高育肥牛蛋白质消化率具有明显的效果，与本试验结果一致。

4　结　论

① 与单独采用稻草为粗饲料相比，采用大豆皮、金针菇菌渣或二者联合与稻草组合提高了山羊 OM、NDF、钙的表观消化率，氮沉积率以及氮生物学价值。

② 本试验条件下，采用大豆皮和金针菇菌渣联合与稻草组合为粗饲料效果最优。

参考文献：

[1] MOULD F L,ØRSKOV E R,GAULD S A.Associative effects of mixed feeds.Ⅱ.The effect of dietary addition of bicarbonate salts on the voluntary intake and digestibility of diets containing various proportions of hay and barley[J].Animal Feed Science and Technology,1983,10(1):31–47.

[2] 张吉鹍,刘建新.稻草添补不同比例苜蓿组合效应的综合评定研究[J].养殖与饲料,2007(3):63–68.

[3] 庄涛,颐洪如,赵国琦,等.不同粗饲料组合对波尔×徐淮山羊生长和屠宰性能的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(15):41–43.

[4] 张吉鹍,刘建新.反刍动物稻草基础日粮补饲苜蓿组合效应的综合评定研究[J].中国奶牛,2007(7):13–16.

[5] LEE M H.Official methods of analysis of AOAC international (16th edn)[J].Trends in Food Science & Technology,1995,6(11):382.

[6] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40–44.

[7] JUNG H G,MERTENS D R,PAYNE A J.Correlation of acid detergent lignin and Klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber[J].Journal of Dairy Science,1997,80(8):1622–1628.

[8] 张佩华,王加启,贺建华,等.青贮对饲料稻秸秆 DM 和 NDF 瘤胃降解特性的影响[J].草业科学,2008,25(6):80–84.

[9] 张石蕊,易学武,贺喜,等.不同精粗比全混合日粮饲养技术对南方奶牛采食行为、产奶性能和血清游离氨基酸的影响[J].草业学报,2008,17(3):23–30.

[10] 姜芳,王佳堃.日粮纤维对反刍动物瘤胃发酵的影响[J].饲料研究,2009(1):58–60.

[11] 张吉鹍,卢德勋.试述反刍动物日粮中的纤维问题[J].中国乳业,2003(7):21–24.

[12] 闵晓梅,孟庆翔.有效纤维及其在奶牛日粮中的应用[J].乳业科学与技术,2002,25(1):24–

28.

[13] 楼灿,姜成钢,马涛,等.饲养水平对肉用绵羊妊娠期消化代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):134–143.

[14] 张立涛,刁其玉,李艳玲,等.中性洗涤纤维生理营养与需要量的研究进展[J].中国草食动物科学,2013,33(1):57–61.

[15] 高立鹏,涂远璐,白云峰,等.日粮中不同纤维来源对山羊生长性能及养分消化率的影响[J].饲料研究,2015(20):33-36.

[16] QUICKE G V,BENTLEY O G,SCOTT H W,et al.Digestibility of soybean hulls and flakes and the *in vitro* digestibility of the cellulose in various milling by-products[J].Journal of Dairy Science,1959,42(1):185–186.

[17] CUNNINGHAM K D,CECAVA M J,JOHNSON T R.Nutrient digestion,nitrogen,and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate[J].Journal of Dairy Science,1993,76(11):3523–3535.

[18] MENG Q X,LU L,MIN X M,et al.Effect of replacing corn and wheat bran with soyhulls in lactation cow diets on *in situ* digestion characteristics of dietary dry matter and fiber and lactation performance[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13(12):1691–1698.

[19] 侯炳刚,高艳霞,袁广珍,等.大豆皮的营养价值及其在奶牛生产中的应用[J].黑龙江畜牧兽医,2009(8):59–61.

[20] 李勇,郝正里,李发弟,等.不同组合饲粮对绵羊消化代谢的影响[J].草业学报,2009,18(1):112–117.

[21] 潘军,傅彤,付春丽,等.菌糠在反刍动物日粮中的应用[J].江苏农业科学,2011,39(2):323–325.

[22] DURAND M,KAWASHIMA R.Influence of minerals in rumen microbial digestion[M]//RUCKEBUSCH Y,THIVEND P.Digestive physiology and metabolism in ruminants.Netherlands:Springer,1980.

[23] 赵天章,李慧英,闫素梅.反刍动物饲料纤维物质瘤胃降解规律研究进展[J].饲料工业,2010,31(7):28–31.

[24] DURAND M,KOMISARCZUK S.Influence of major minerals on rumen microbiota[J].The Journal of Nutrition,1988,118(2):249–260.

[25] BEANDT E,PINDBORG E,FREDSTED I,et al.Oxalic acid in foods[J].Staten Husholdningsrads Faglige Meddelelser,1953,4:19-26.

[26] 刘远升,赵书平.日粮纤维营养价值及其应用[J].河南职业技术师范学院学报,2002,30(2):41–43.

[27] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2006.

[28] 夏科,王志博,郗伟斌,等.粗饲料组合对奶牛饲粮养分消化率、能量和氮的利用的影响[J].动物营养学报,2012,24(4):681–688.

[29] 娜仁花,董红敏.日粮良类型对奶牛能量代谢的影响[J].中国饲料,2011(18):24–27,30.

[30] 郑琛.不同处理饲粮及不同组合全饲粮颗粒料对绵羊瘤胃内环境和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2004.

[31] 郭艳丽,郝正里,曹致中,等.不同生育期和不同品种苜蓿的果胶含量及与其他营养素的相互关系[J].草业学报,2006,15(2):74–78.

[32] 林萌萌,郑爱华,刘玉.日粮添加不同比例的菌渣对育肥牛养分表观消化率的影响[J].中国牛业科学,2015,41(1):34–36.

Effects of Different Roughage Combinations on Dietary Nutrient Apparent Digestibility and Nitrogen Balance of Goats

GAO Liping MENG Meijuan BAI Yunfeng* TU Yuanlu YAN Shaohua LIU Jian

(*Animal Science Base of Jiangsu Academy of Agricultural Science*, *Nanjing* 210014, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different roughage combinations on dietary nutrient apparent digestibility and nitrogen balance of goats. Four healthy goats (Boer goats × *Xuhuai* goats) with an average body weight of（26.63±2.60）kg were used in a 4 × 4 Latin square design. Roughage for basal diet was straw (A), and straw in experimental diets was partly substituted by soybean hulls (B), *Enoki mushroom* residues (C) and soybean hulls + *Enoki mushroom* residues (D), respectively. The four diets had similar levels of nitrogen, energy

*Corresponding author, professor, E-mail: blinkeye@126.com

（责任编辑　王智航）

and fiber. The experiment included four stages with 15 d per stage (10 d for preliminary trial and 5 d for formal trial. The results showed as follows: 1) apparent digestibility of dry matter (DM), acid detergent fiber (ADF), phosphorus and gross energy had no difference in four diets ($P>0.05$). 2) Compared with diet A, diet D significantly improved apparent digestibility of organic matter (OM) and neutral detergent fiber (NDF) ($P<0.05$), diet B had no significant difference with diet A （$P>0.05$）, calcium apparent digestibility of diet B, diet C and diet D was not significantly different ($P>0.05$), which was significantly higher than that of diet A ($P<0.05$). 3) Compared with diet A, diet B, diet C and diet D significantly improved nitrogen retention rate and nitrogen biological value ($P<0.05$). It is concluded that compared with straw as single roughage, using soybean hulls, *Enoki mushroom* residues or their combination to partly substitute straw can improve apparent digestibility of OM, NDF and calcium, nitrogen retention rate and nitrogen biological value; it can obtain better effects that using the combination of soybean hulls and *Enoki mushroom* residues to partly substitute straw as roughage under conditions in the present experiment.

Key words: goat; straw; *Enoki mushroom* residue; soybean hull; apparent digestibility; metabolism